



# ***PROSIDING***



## ***SEMILAR NASIONAL 2018***

### **RENEWABLE & SMART ENERGY SYSTEMS**

Jakarta, 18 Oktober 2018  
Auditorium Grha William Soeryadjaya  
Gedung FK UKI, Cawang, Jakarta

Diselenggarakan oleh :  
Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik

UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA



# Seminar Nasional ***Renewable & Smart Energy Systems***

## **Reviewer Makalah:**

Prof. Atmonobudi Soebagio, Ph.D  
Prof. Dr. Ir. Charles O.P. Marpaung, MS  
Dr. Ir. Qamaruzzaman, MT

## **Penerbitan Artikel:**

Prof. Atmonobudi Soebagio, Ph.D  
Ir. Robinson Purba, MT  
Ir. Bambang Widodo, MT  
Susilo, S.Kom, MT

## **Editor:**

Jalius Salebbay, S.Pd.  
Stepanus, S.T., M.T.  
Eva Magdalena Silalahi, S.T., M.T.

**ISBN: 978-979-8148-78-1**

Penerbit  
UKI Press  
Jl. Mayjen Sutoyo No.2 Cawang Jakarta 13630  
Telp.(021)8092425, [ukipress@uki.ac.id](mailto:ukipress@uki.ac.id)  
Cetakan 1, 2018

**UKI Press  
2018**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan atas perkenanNya Seminar Nasional dan *Call for Papers* dengan tema ***Renewable & Smart Energy Systems*** yang diselenggarakan dalam rangkaian perayaan 65 tahun UKI dan 55 tahun FT-UKI, dapat terlaksana dengan baik dan Prosiding ini dapat diterbitkan.

Tema tersebut dipilih dengan alasan yang pertama untuk mengembangkan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebagai sumber energi di Indonesia dengan menargetkan 23 persen dari bauran energi primer, yang kedua untuk menghimpun berbagai pemikiran dan pengalaman praktik yang dapat digunakan sebagai wawasan, pengetahuan, dan pedoman dalam rangka mewujudkan alasan pertama serta menjaga lingkungan berkelanjutan dan alasan yang ketiga untuk mendorong *smart energy system* di Indonesia sehingga tercipta suatu sistem energy yang efisien dan berkelanjutan, infrastruktur, serta pengendalian konsumsi energy yang terintegrasi melalui aplikasi layanan energi, pengguna aktif, dan teknologi yang memungkinkan.

Seminar Nasional ini dihadiri oleh Bapak Ignasius Jonan, Menteri ESDM RI, sebagai Keynote Speaker, dan Prof. Eduard Muljadi, Ph.D dari Auburn University USA, serta Prof. Atmonobudi Soebagio, Ph.D dosen tetap Program Studi Magister Teknik Elektro FT-UKI sebagai Nara Sumber dan para akademisi, peneliti dan praktisi untuk mempresentasikan penelitiannya, sekaligus bertukar informasi dan memperdalam masalah penelitian, serta mengembangkan kerjasama yang berkelanjutan.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada *Keynote Speaker*, Pimpinan Universitas Kristen Indonesia, Nara Sumber, pemakalah, moderator, peserta, panitia, para alumni, para mahasiswa, sponsor dan donatur yang telah berupaya mensukseskan Seminar Nasional ini.

Jakarta, 25 Oktober 2018

Program Studi Teknik Elektro FT-UKI  
Ketua

Ir. Bambang Widodo,M.T.

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar		ii
Daftar Isi		iii
<b>Makalah Utama</b>		
MU-01	Renewable Energy Generation Challenges and Opportunities , Eduard Muljadi J.J. (Danaher Distinguished Professor Dept. of <i>Electrical and Computer Engineering</i> Auburn University Auburn, AL 36849, USA)	1
MU-02	Manfaat Perkembangan <i>TIK</i> Bagi Pendidikan Tinggi: Tinjauan Tentang Arah Pendidikan Teknik Elektro di Indonesia. Prof. Atmonobudi Soebagio, Ph.D. (Universitas Kristen Indonesia)	17
<b>Energi Panas Bumi</b>		
EPB-01	Pemanfaatan Ladang Minyak Tua untuk Energi Panas Bumi Komersial: Studi Pendahuluan untuk Aplikasi di Indonesia, Dorman P. Purba, Daniel W. Adityatama Mukhamad Faeshol Umam, Farhan Muhammad ; (Master of Energy Program, University of Auckland, Auckland; PPSDM-Migas, Cepu; Rigsis Energi Indonesia)	28
EPB-02	Manajemen Resiko Dalam Dalam Pemboran Eksplorasi Panas Bumi di Indonesia, Daniel W. Adityatama, Mukhamad Faeshol Umam, Dorman P. Purba, Farhan Muhammad (Master of Energy Program, University of Auckland, Auckland; PPSDM-Migas, Cepu; Rigsis Energi Indonesia.)	37
EPB-03	Tantangan Pengembangan Energi Panas Bumi Dalam Perannya Terhadap Ketahanan Energi di Indonesia, Mukhamad F. Umam, Farhan Muhammad, Daniel W. Adityatama, Dorman P. Purba (PPSDM-Migas, Cepu; Rigsis Energi Indonesia, Jakarta; Program Master of Energy, University of Auckland, New Zealand)	54
<b>Energi Surya, Angin,Air, dan Biomasa</b>		
SAB-01	Perancangan Pembangkit Listrik Hibrida PLTS-Generator Berkapasitas 3.000 VA, Nasrun Hariyanto dan Decy Nataliana (Teknik Elektro, Itenas, Bandung)	68
SAB-02	Perencanaan Suplai Energi Listrik Untuk Mencapai Zero Energy Building Pada Rencana Pusat Kegiatan Kemahasiswaan dan Olahraga di Kampus Universitas Kristen Indonesia, Kennedy Yosua Agustian, Charles OP Marpaung, Stepanus, Robinson Purba (Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro FT UKI, Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro PPs UKI, Dosen Program Studi Teknik Elektro FT UKI)	75
SAB-03	Analisis Probabilistik Terhadap Energi Yang Dibangkitkan Oleh Solar Photovoltaic Pada Daerah Berbeda Iklim, Nazaroni Parapat, Charles OP Marpaung, Eva Magdalena Silalahi, Robinson Purba (Program Studi Teknik Elektro	80

	FT UKI; Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro PPs UKI; Dosen Program Studi Teknik Elektro FT UKI)	
SAB-04	Desalinasi Air Laut Menjadi Air Tawar Menggunakan Tenaga Surya Tipe Kolektor Tabung Vakum Solar Desalinationusing Evacuated Tube Collector, Sari Farah Dina, Ilmi Abdullah, dan Siti Masriani Rambe (Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan, dan Program Studi Teknik Mesin - Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Medan)	89
SAB-05	Energi Angin Sebagai Sumber Daya Listrik Data Recovery Center, Iskandar Zulkarnaen, Arya Mirza, Fendy Mugni (Program Studi Magister Teknik Elektro UKI)	98
SAB-06	Potency of Wind Energy In District Haharu-Sumba Island-Ntt Province, Fandy Marpaung, Judo Nempung, Djonli (Program Studi Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana UKI)	102
SAB-07	Teknologi Energi Terbarukan Turbin Air Head Rendah Pikohidro Mendukung Pertanian Indonesia, Henny Sudibyo (Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung)	106
SAB-08	Studi Pengelolaan Sampah Kota Jakarta Dengan Teknologi Thermochemical Di PLTSa Bantar Gebang Sebagai Sumber Energi Terbarukan, Benny Tuahta Bangun, Samuel, Albertus Endry (Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana UKI)	112
Ketahanan Energi di Indonesia		
KEI-01	Kedaulatan dan Ketahanan Energi di Era SDGs, Sahat Marojahan Doloksaribu (Universitas Kristen Indonesia)	118
KEI-02	Peranan Rantai Pasokan Energi dalam Upaya Pengelolaan Ketahanan Energi Nasional, Nana Heryana, Boy Bachter, Bambang Widodo, Robinson Purba Nana (Program Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana UKI)	123
KEI-03	Analisis Ketahanan Energi dalam Elektrifikasi Fasilitas Umum di Pulau Sabira- Kepulauan Seribu dengan Hybrid Power Source - PV Grid Connected, Nana Heryana, Bambang Widodo, Qamaruzzaman, Robinson Purba, Atmonobudi Soebagio (Program Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana UKI) dan, Agus Purwadi, Handoko Rusiana (Laboratorium Penelitian Konversi Energi Elektrik Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB)	130
KEI-04	Analisis Dekomposisi untuk Mengetahui Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perubahan Emisi di Negara-Negara ASEAN, Nana Heryana, Moses Morisca, Oliver Hutagalung, Bambang Widodo, Robinson Purba (Program Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana UKI)	137
KEI-05	Analisis Potensi Daya Listrik pada Feasibility Study Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro-Aries-Banjarnegara-Jawa Tengah, Nana Heryana, Robinson Purba, Qamaruzzaman (Program Magister Teknik Elektro,	148

	Program Pascasarjana UKI) dan, Agus Purwadi, Handoko Rusiana (Laboratorium Penelitian Konversi Energi Elektrik Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB)	
Teknologi Material		
TM-01	Karakterisasi Superkapasitor Melalui Scanning Electron Microscope dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Stepanus, Nes Yandri Kahar, Qamaruzzaman (Program Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana UKI)	155
TM-02	Ekstraksi Lipid Microalga Jenis Chlorella Vulgaris Melalui Reaksi Esterifikasi Dan Transesterifikasi Untuk Biodiesel, Jalius Salebbay, Teddy Gama Ucok, Futung Mustari (Program Studi Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana UKI)	164
TM-03	Pengaruh Karakteristik Bahan Pendingin Hidrokarbon pada Unit AC Kapasitas 9000 Btuh Terhadap Penghematan Konsumsi Listrik, Widodo, Ade Irvan Tauvana (Teknik Mesin, Politeknik Enjinering Indorama, Purwakarta)	174
TM-04	Analisis Penghematan Bahan Bakar Menggunakan Elektrolisis Air Dibanding Dengan Elektromagnet Dan Ignition Booster Pada Motor MIO 110 CC, Dalil Phytagoras Panjaitan (Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta)	182
TM-05	Penentuan Batu Pasir Menggunakan Ekstraksi Data Log Pada Reservoir Sumur SS-4, Radita Arindya (Program Studi Teknik Elektro, Universitas Satyagama, Jakarta)	189
TM-06	Analisis Aliran Udara Dingin Sistem Penghilang Embun Kaca Depan Mobil Berbasis Thermoelectric Cooling Dengan CFD, Lukman Nulhakim, Fatkur Rachmanu Lukman Nulhakim, Fatkur Rachmanu (Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Enjinering Indorama, Purwakarta)	197
Smart Energy dan Sistem Daya Listrik		
SES-01	Rancang Bangun Sistem Pembatas Daya Dan Pengatur Prioritas Beban Listrik Secara Otomatis Untuk Efisiensi Catuan Listrik, Ir. Sofyan Achmad Basuki (Kaprodi Teknik Elektro STT Bina Tunggal Bekasi) dan Ir. Lela Nurpulaela, MT (Prodi Teknik Elektro, Universitas Singa Perbangsa Karawang)	204
SES-02	Sistem Kendali Digital Buck And Boost Converter Pada Sistem Charging Dan Discharging Baterai Lithium-Ion, Zaini, Hendriano Dwi Putra dan Rizka Hadelina(Teknik Elektro, Universitas Andalas, Padang)	215
SES-03	Analisis Pembebanan Transformator Sisipan Pada Penyulang DSNM di Gardu SDB Ujung Berung Bandung, Noviadi Arief Rachman (Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Kampus LIPI, Bandung) dan Peri Heryanto (Jurusan Teknik Elektro, Sub. Teknik Tenaga Listrik, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung)	222
SES-04	Pengaruh Pengaturan Sistem Pengaman Untuk Reduksi Energi Insiden Arc-Flash pada Main Distribution Panel,	231

	Noviadi Arief Rachman dan Agus Risdiyanto (Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Kampus LIPI, Bandung)	
SES-05	Aplikasi Clamp Soldering Untuk Perbaikan Stator Generator Di Hazardous Area Di Anjungan Lepas Pantai, Andrias Atmoko, Stepanus, Eva Magdalena Silalahi (Program Studi Teknik Elektro FT-UKI)	242

# Renewable Energy Machines and Systems

E. Muljadi, *FIEEE*, J. Kim, *Member, IEEE*, R. Nelms, *FIEEE*  
Auburn University, Auburn, AL, USA

A. Soebagio, *Senior Member, IEEE*  
Universitas Kristen Indonesia

S. Meor-Danial, *Member, IEEE*  
National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA





Disponsori Oleh :



Penerbit UKI Press  
Jl. Mayjen Sutoyo No. 2  
Cawang 13630

ISBN 978-979-8148-78-1







# Sertifikat

diberikan kepada :

**Stepanus, ST, MT**

atas partisipasinya sebagai :

**Pembicara**

Dalam Seminar Nasional 2018

**"RENEWABLE ENERGY & SMART ENERGY SYSTEM"**

Kamis, 18 Oktober 2018

di Auditorium Grha William Soeryadjaya, UKI, Cawang, Jakarta

diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia (UKI)



Fakultas Teknik UKI  
Dekan,

Ir. Galuh Widati, MSc



Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,

Ir. Bambang Widodo, MT

Panitia Seminar  
Ketua,

Eva Magdalena Silalahi, ST., MT

# Karakterisasi Superkapasitor Melalui Scanning Electron Microscope Dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy

Stepanus<sup>1</sup>, Nes Yandri Kahar<sup>2</sup>, Qamaruzzaman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia

<sup>2,3</sup>Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia

E-mail: <sup>1</sup>[gabrielstepanus80@gmail.com](mailto:gabrielstepanus80@gmail.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti jenis kapasitor tiga sampel superkapasitor yang ada di pasaran dari pabrik yang sama, dan untuk meneliti faktor penyebab keunggulan penyimpanan energi oleh superkapasitor. Pengujian menggunakan tiga sampel superkapasitor dengan tegangan 100 V, dan nilai kapasitansi yang berbeda-beda yaitu sampel 1 (4.700  $\mu\text{F}$ ), sampel 2 (6.800  $\mu\text{F}$ ), dan sampel 3 (15.000  $\mu\text{F}$ ). Metoda penelitian sampel menggunakan *Cyclic Voltammetry*, *Scanning Electron Microscopy*, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. Pengolahan data pengukuran dan perhitungan analisis siklik voltammetri menghasilkan kapasitansi spesifik sampel 1 (0,0011 F/g), sampel 2 (0,0019 F/g), dan sampel 3 (0,0013 F/g). Hasilnya ternyata tidak konsisten, seharusnya kapasitansinya semakin besar berdasarkan dari data kapasitor yang dipakai sebagai sampel. Tidak konsisten hasil tersebut dapat dijelaskan dengan *Scanning Electron Microscopy*, dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. Jenis kapasitor tiga sampel superkapasitor yang ada di pasaran dari pabrik yang sama berdasarkan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* termasuk pseudokapasitor karena mempunyai partikel-partikel yang berwarna putih dan berbentuk kristal, dan penyebab keunggulan penyimpanan energi superkapasitor terletak pada dua lapisan yang dilapisi karbon aktif tanpa adanya reaksi kimia.

**Kata kunci:** (superkapasitor, kapasitansi, penyimpan energi)

## ABSTRACT

*This research is conducted to test three different supercapacitor sample from the same factory which are sold the market, to find out the leading factor of the energy storage in supercapacitor. The test was run using three sample of supercapacitor with 100V voltage, and have different capacity value which are: 1st sample (4.700  $\mu\text{F}$ ), 2nd sample (6.800  $\mu\text{F}$ ), and 3rd sample (15.000  $\mu\text{F}$ ). The following research method were used on this experiments: Cyclic Voltammetry, Scanning Electron Microscopy, Fourier Transform Infrared Spectroscopy. The data processing and analytical data calculation produced the following capacitance value: 1st sample (0,0011 F/g), 2nd sample (0,0019 F/g), and 3rd sample (0,0013 F/g). The result was an inconsistent, in which the capacitance should be greater based on the capacitor data used as a sample. The inconsistency of the result could be explained using Scanning Electron Microscopy, and Fourier Transform Infrared Spectroscopy. The types of three supercapacitor samples which are sold on the market from the same factory, are*



*characterized using Scanning Electron Microscopy, including the pseudocapacitor because it has the white, crystallized particles, and the advantage of the energy storage from the supercapacitor are caused by two carbon active layered substance without any chemical reaction.*

**Keywords:** (supercapacitor, capacitance, energy storage)

## PENDAHULUAN

Di dalam Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) tahun 2018 – 2027 dikemukakan bahwa proyeksi rata-rata pertumbuhan kebutuhan listrik sebesar 6,86%. Pemenuhan kebutuhan listrik ini dilakukan dengan membangun sejumlah pembangkit sebesar 56.024 MW, dimana 23,0% pembangkit merupakan pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT), termasuk di dalamnya pemanfaatan energi sinar matahari. Dalam kurun waktu 10 tahun ke depan (2018 – 2027), ditargetkan pembangunan PLTS dengan kapasitas 1.045 MWp (RUPTL 2018 – 2027).

Rencana pembangunan PLTS perlu mendapat perhatian khusus karena penggunaan teknologi sel surya pasti membutuhkan tempat penyimpanan energi listrik. Penyimpanan energi yang lazim dipakai saat ini oleh PT. PLN (Persero) menggunakan baterai (teknik penyimpanan energi elektro-kimia). Sebagaimana diketahui bahwa selain penyimpanan energi secara elektro-kimia, energi dapat pula disimpan secara elektrik, dikenal penggunaan kapasitor dengan efisiensi yang tinggi dan *life cycle* yang lebih lama.

Kapasitor dengan kapasitas besar dikenal dengan superkapasitor. Superkapasitor adalah suatu peralatan penyimpan energi dalam bentuk medan listrik yang memanfaatkan luas area permukaan elektroda dibuat lebih besar, larutan elektrolit dan ketebalan bahan dielektrik dibuat lebih tipis sehingga menurunkan jarak antara elektroda. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan kapasitansi dan energi pada kapasitor. (Zhong dkk., 2015). Dengan cara ini, superkapasitor dimungkinkan memiliki rapat energi yang jauh lebih besar dibanding dengan kapasitor konvensional dan memiliki rapat daya jauh lebih besar dibanding baterai.

Baterai komersial yang tersedia di pasaran sekarang memiliki kelemahan yaitu waktu pengisian daya baterai yang relatif lama, cepat panas, kapasitas penyimpanan energi yang

sedikit, dan bersifat racun bagi lingkungan. Oleh sebab itu, para ilmuwan dan ahli teknologi mulai untuk mengembangkan teknologi yang baru yaitu teknologi yang dapat menyimpan energi lebih banyak, ramah lingkungan dan tahan lama. (N Christina, 2014). Teknologi tersebut adalah penggunaan superkapasitor.

Superkapasitor memiliki beberapa keunggulan dibanding baterai dan kapasitor konvensional, diantaranya adalah *life time* yang lebih lama, prinsip dan modelnya yang sederhana, waktu pengisian yang lebih cepat, aman dan memiliki rapat daya yang tinggi yaitu 10 - 100 kali lipat lebih besar. (Kay Hyeok, 2001), (Karthikeyan, 2009), (Jayalakshmi, 2008), (Sahay, 2009). Selain itu, kebutuhan waktu yang singkat dalam pengisian ulang ini menyebabkan superkapasitor mempunyai potensi yang besar dibandingkan baterai. (Conway, 1999). Dari sisi keramahan terhadap pengguna, superkapasitor dapat meningkatkan keamanan karena tidak ada bahan korosif dan lebih sedikit bahan yang beracun. (Karthikeyan, 2009). Dengan demikian, superkapasitor merupakan alternatif solusi yang baik sebagai piranti penyimpan energi.

Terdapat tiga jenis superkapasitor, yakni kapasitor listrik dua lapis ganda (*Electric Double Layer Capacitor - EDLC*), pseudokapasitor yang menggunakan elektroda dari bahan metal oksida atau hidroksida seperti ruthenium, cobalt, nikel dan mangan oksida atau hidroksida, serta *hybrid capacitor* yakni kapasitor yang menggabungkan jenis kapasitor yaitu EDLC dan pseudokapasitor. *EDLC* mempunyai densitas energi 1.000 kali lebih besar dibanding kapasitor konvensional.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Superkapasitor

Superkapasitor atau disebut juga EDLC (*Electrochemical Double Layer Capacitor*) memiliki kepadatan daya tinggi, kepadatan energi tinggi dan mempunyai siklus hidup lama. Piranti





ini mempunyai beberapa komponen diantaranya elektroda, elektrolit dan separator. Elektroda terdiri bahan semikonduktor seperti karbon. Elektrolit dapat berupa cair atau non-cair tergantung pembuatan superkapasitornya. Sedangkan separator ini dibuat dari membran yang berfungsi untuk melewatkan ion-ion yang saling bertukar dari elektroda positif dan negatif.

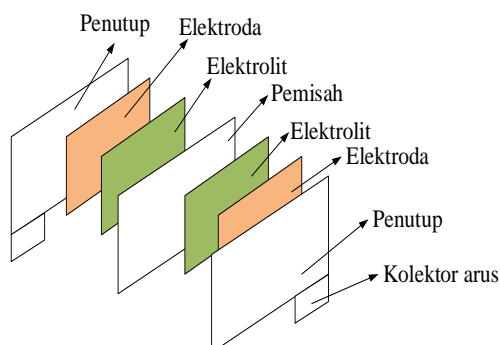
Mekanisme elektrostatis membuat EDLC dapat menyimpan energi dan melepaskannya dengan cepat. EDLC umumnya beroperasi dengan performa yang stabil dengan banyak siklus pengisian-pengosongan, pada umumnya sebanyak  $10^6$  siklus. Saat tegangan listrik diberikan pada kapasitor, muatan berlawanan terakumulasi pada setiap permukaan elektroda. Muatan-muatan tersebut akan tetap terpisah oleh bahan dielektrik yang mengisi ruang antar plat kapasitor, sehingga menghasilkan medan listrik yang menyebabkan kapasitor dapat menyimpan energi.

Gambar 1. Susunan Prototype Superkapasitor

### Prinsip Kerja Superkapasitor

Prinsip kerja superkapasitor yaitu pada saat pengisian (*charging*), ion-ion dari dua elektroda saling bertukar melewati separator. Ion negatif dari elektroda positif akan bergerak menuju ke elektroda negatif melalui membran separator begitu pula sebaliknya, saat pertukaran ion tersebut muatan disimpan dalam superkapasitor, saat pengosongan (*discharge*), ion-ion dari dua elektroda yang bertukar pada proses charge kembali ke posisi semula. Ion negatif kembali ke elektroda positif begitu sebaliknya. Muatan dalam proses ini dikeluarkan dari superkapasitor dan bisa digunakan untuk berbagai keperluan.

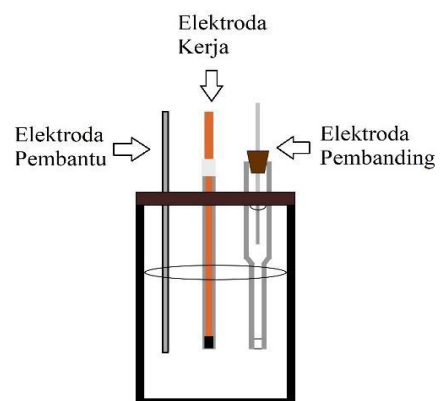
Proses pengosongan (*discharge*) superkapasitor dipengaruhi oleh beberapa faktor,



seperti jarak antara kedua elektroda dan luas permukaan elektroda. Luas permukaan elektroda serta tipisnya membran elektrolit membuat kapasitor ini memiliki nilai kapasitansi yang tinggi: (Santiago et al).

### CV (Cyclic Voltammetry)

Voltammetri adalah salah satu metode elektroanalisis yang didasarkan pada pengukuran arus sebagai fungsi dari potensial yang diterapkan. (Skoog dkk., 1995). Plot antara potensial terhadap arus dinamakan voltammogram. Sel voltammetri terdiri dari tiga elektroda yang dicelupkan ke dalam larutan yang mengandung analit dan elektrolit non reaktif disebut elektrolit pendukung, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 tiga jenis elektroda yang digunakan yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*reference electrode*), dan elektroda pembantu (*auxiliary electrode*). (Harvey, 1999). Elektroda pembanding yang umum digunakan di antaranya elektroda perak-perak klorida (Ag/AgCl) dan elektroda kalomel jenuh (Hg/Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), sedangkan elektroda pembantu yang umum digunakan adalah material konduktor *inert* seperti kawat platina atau grafit. Beberapa elektroda kerja yang banyak digunakan, diantaranya elektroda raksa, elektroda karbon, elektroda platinum, elektroda emas dan elektroda *boron-doped diamond*. (Wang, 2000).



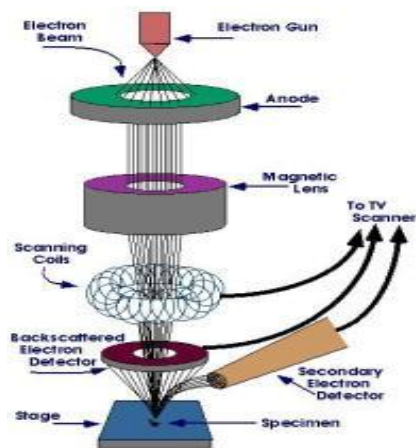
Gambar 2. Skema Sel Voltammetri

### SEM (Scanning Electron Microscopy)

SEM adalah peralatan untuk menguji atau melihat struktur permukaan sampel dengan



perbesaran sampai dengan 1.000.000 x. Peralatan ini memiliki 2 modus operasional, *Low Vacum* (untuk sampel non konduktif) dan *High Vacum* (untuk sampel konduktif). Alat ini dilengkapi EDAX yaitu alat yang dapat digunakan untuk menguji kandungan unsur pada bahan yang dilihat struktur permukaannya. Kandungan unsur yang dapat diuji mulai dari Berilium s/d Uranium. Sebaran unsur di dalam bahan juga dapat dideteksi berupa *surface area*, *line* dan *mapping*. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop optik. Hal ini disebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang dimiliki elektron lebih pendek daripada gelombang optik.



Gambar 3 Skema SEM

### FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

Spektroskopi FTIR adalah teknik pengukuran untuk mengumpulkan spektrum inframerah. Energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam, kemudian diteruskan ke interferometer. Sinar pengukuran sampel diubah menjadi interferogram. Perhitungan secara matematika Fourier Transform untuk sinyal tersebut akan menghasilkan spektrum yang identik pada spektroskopi inframerah. (Griffith, 1975). Analisis kualitatif dengan IR, sebagai pelengkap untuk memperoleh informasi struktur dari senyawa melalui interpretasi.

### METODE PENELITIAN

#### Metoda Penelitian Sampel Dengan CV

Analisis pada metoda voltametri didasarkan pada kurva arus-potensial yang diperoleh dengan mengukur arus yang mengalir pada elektroda kerja selama potensial elektroda tersebut diubah perlahan-lahan pada daerah potensial pengukuran tertentu. Karena elektroda kerja dihubungkan dengan sumber potensial listrik tertentu maka permukaan elektroda akan memiliki muatan listrik yang besarnya tergantung pada potensial yang diberikan. Jika potensial cukup negatif maka permukaan elektroda akan bermuatan negatif, sebaliknya jika potensial yang diberikan cukup positif maka elektroda tersebut akan bermuatan positif. Untuk mengimbangi muatan yang terdapat pada permukaan elektroda maka ion-ion dalam larutan yang memiliki muatan berlawanan dengan muatan elektroda akan tertarik ke permukaan elektroda membentuk permukaan Helmholtz (Helmholtz layer). Pasangan muatan pada permukaan elektroda dan permukaan Helmholtz ini disebut lapisan rangkap listrik.

Bila potensial elektroda di-scan ke nilai potensial yang lebih negatif sehingga mencapai potensial dekomposisi dari ion analit maka ion-ion analit yang terdapat pada permukaan Helmholtz akan tereduksi. Akibatnya, konsentrasi ion-ion analit pada permukaan Helmholtz ini akan berkurang. Untuk menutupi kekurangannya ion-ion analit pada permukaan Helmholtz ini, maka ion-ion analit yang terdapat pada tubuh larutan akan berdifusi menuju elektroda. Aliran ion-ion analit inilah yang akan menghasilkan arus difusi. Pada metoda voltametri arus difusi inilah yang akan diukur, yang besarnya bergantung pada konsentrasi ion-ion analit yang terdapat di dalam larutan. NaCl sebagai elektrolit pendukung, fungsinya meminimalisir transpor massa migrasi dan meningkatkan kekuatan ion dalam larutan agar aktifitas sama dengan konsentrasi, sehingga timbulnya arus bisa dari transfer elektron dan transpor massa.

#### Metoda Penelitian Sampel Dengan SEM

Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Permukaan benda yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Tetapi ada satu



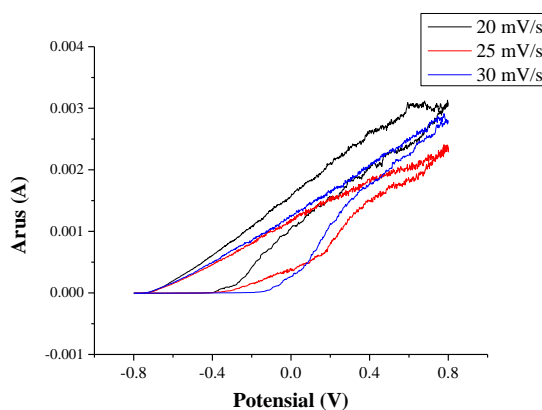
arah dimana berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberikan informasi profil permukaan benda seperti seberapa landai dan kemana arah kemiringan. Ketika dilakukan pengamatan, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron di-scan ke seluruh area pengamatan. Lokasi pengamatan dapat dibatasi dengan melakukan *zoom-in* atau *zoom-out*. Berdasarkan arah pantulan berkas pada berbagai titik pengamatan maka profil permukaan benda dapat dibangun menggunakan program pengolahan citra yang tersedia dalam komputer.

### Metoda Penelitian Sampel Dengan FTIR

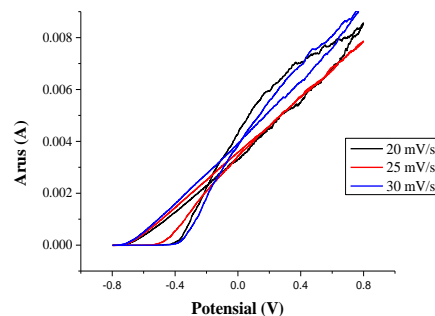
Prinsip kerja FTIR dijelaskan sebagai berikut, sinar yang datang dari sumber sinar akan diteruskan, dan kemudian akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan kedua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar yang akan saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, bagian sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut interferogram. Interferogram ini akan diubah menjadi spektra inframerah dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika. (Tahid, 1994).

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

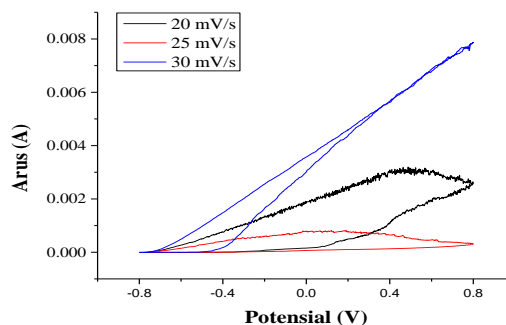
#### Analisis Pengukuran Superkapasitor Dengan CV



Gambar 4. Voltammogram siklik menggunakan elektroda kerja sampel 1



Gambar 5. Voltammogram siklik menggunakan elektroda kerja sampel 2



Gambar 6. Voltammogram siklik menggunakan elektroda kerja sampel 3

Telah dilakukan pengukuran voltametri siklik untuk larutan  $K_3[Fe(CN)_6]$  dan  $K_4[Fe(CN)_6]$  0,01 M dalam NaCl 0,1 M menggunakan elektroda kerja emas cakram, elektroda kerja dari sampel, elektroda pendukung kawat platina, dan elektroda pembanding Ag/AgCl menggunakan Potensiostat/Galvanostat eDAQ 410.



**Tabel 1. Perhitungan Kapasitansi Spesifik ( $C_{sp}$ ) Hasil Pengujian CV Di *Software Origin Pro* dengan tiga sampel:**

	<b>Sampel 1</b>		
	20 mV/s	25 mV/s	30 mV/s
$C_{sp}$ (F/g)	<b>0.001101357</b>	<b>0.00104203</b>	<b>0.000997277</b>

	<b>Sampel 2</b>		
	20 mV/s	25 mV/s	30 mV/s
$C_{sp}$ (F/g)	<b>0.001960622</b>	<b>0.000885714</b>	<b>0.001277758</b>

	<b>Sampel 3</b>		
	20 mV/s	25 mV/s	30 mV/s
$C_{sp}$ (F/g)	<b>0.001363693</b>	<b>0.000370334</b>	<b>0.000566124</b>

Keterangan:

Pada sampel 1, massa sampel = 68,2663 gram.

Pada sampel 2, massa sampel = 87,2172 gram.

Pada sampel 3, massa sampel = 158,3435 gram.

Rumus perhitungan kapasitansi spesifik:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

$$C_{sp} = \frac{Q}{V \cdot m} = \frac{I \cdot t}{V \cdot m} \quad (2)$$

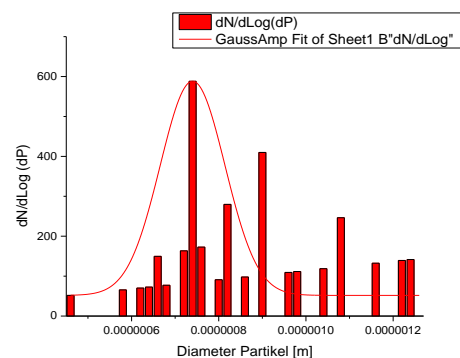
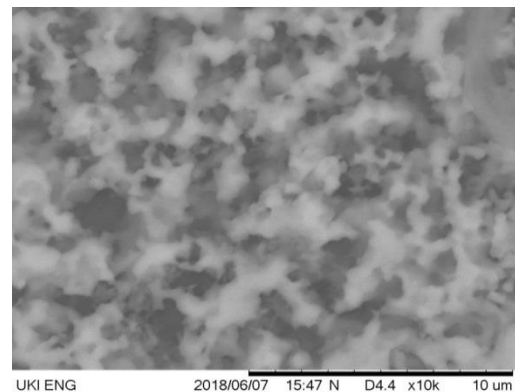
$$C_{sp} = \frac{I}{\text{scanrate} \cdot \text{massa}} \quad (3)$$

Dari tabel hasil analisis CV kapasitansi spesifik sampel 1 (0,0011 F/g), sampel 2 (0,0019 F/g), dan sampel 3 (0,0013 F/g) hasilnya ternyata tidak konsisten, seharusnya kapasitansinya semakin besar berdasarkan dari data kapasitor yang dipakai sebagai sampel. Tidak konsisten hasil tersebut dapat dijelaskan dengan SEM dan FTIR.

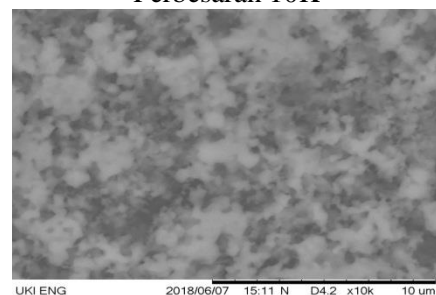
### Analisis Pengukuran Superkapasitor Dengan SEM

Telah dilakukan pengukuran sampel dengan SEM, karakterisasi SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi, porositas, dan ukuran

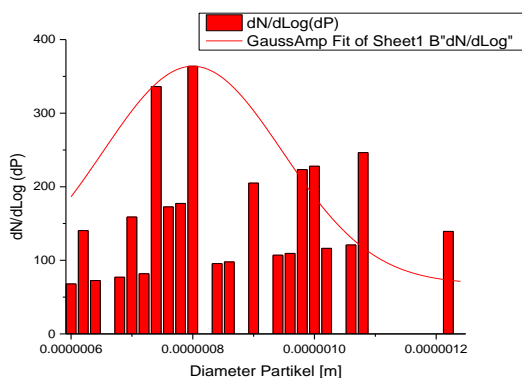
material. Berikut karakterisasi SEM pada ketiga sampel dan hasil pengukuran menggunakan Image MIF di *software Origin Pro*:



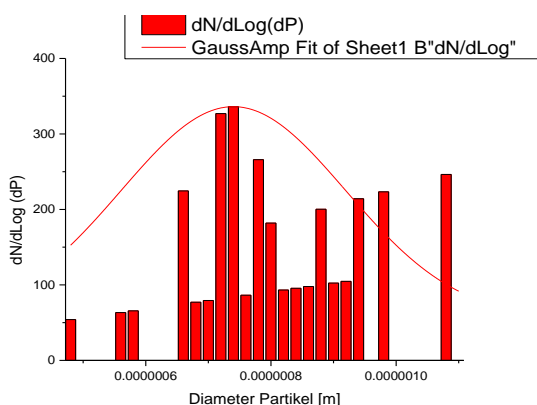
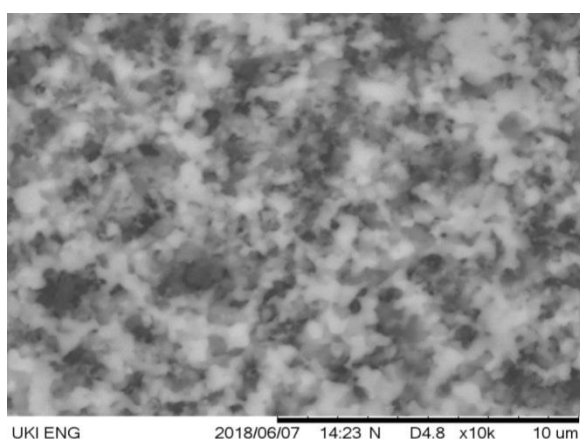
**Gambar 7. Struktur Morfologi Sampel 1 Dengan Perbesaran 10K**







Gambar 8. Struktur Morfologi Sampel 2 Dengan Perbesaran 10K



Gambar 9. Struktur Morfologi Sampel 3 Dengan Perbesaran 10K

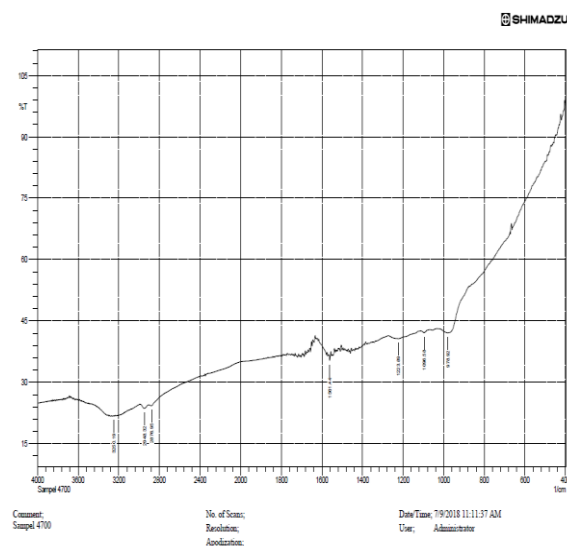
**Tabel 2. Perhitungan Diameter Partikel Hasil Pengujian SEM Di Software Origin Pro Dengan Tiga Sampel**

	<b>Sampel 1 (4700 <math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Sampel 2 (6800 <math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Sampel 3 (15000 <math>\mu\text{F}</math>)</b>
Diameter Rata” [m]	$8,5 \times 10^{-07}$	$9,1 \times 10^{-07}$	$7,8 \times 10^{-07}$

Dari tabel hasil analisis SEM antara sampel 1 dengan sampel 2 bahwa sampel 1 kapasitansinya lebih kecil dari sampel 2, sedangkan diameternya sampel 1 juga kecil dan sampel 2 lebih besar, berarti tidak konsisten dengan teori yang ada bahwa dengan makin kecilnya diameter, kapasitansi akan semakin besar. Berdasarkan hasil pengukuran ternyata sampel 1 diameternya kecil, tetapi kapasitansinya juga kecil. Bandingkan juga hasil antara sampel 1 dengan sampel 3 yang konsisten dengan teori, diameternya semakin kecil, kapasitansinya semakin besar.

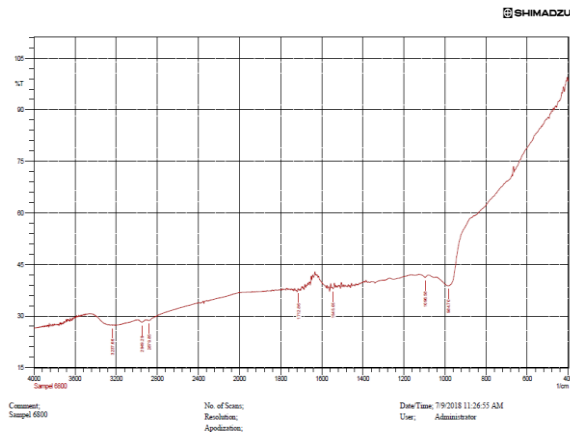
#### Analisis Pengukuran Superkapasitor Dengan FTIR

Telah dilakukan pengukuran sampel dengan FTIR, berikut hasil spektrum IR ketiga sampel:

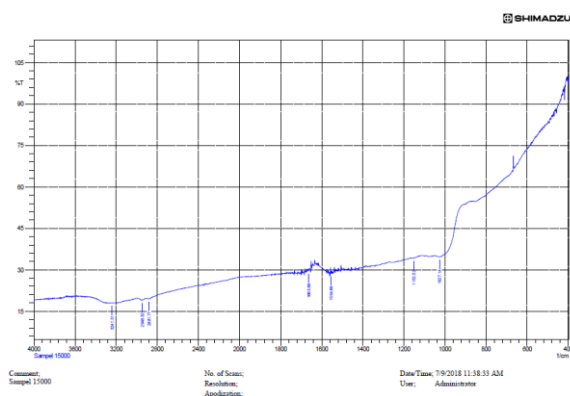


Gambar 10. Spektrum IR Pada Sampel 1





Gambar 11. Spektrum IR Pada Sampel 2



Gambar 12. Spektrum IR Pada Sampel 3

Dari hasil FTIR pada sampel 3 ada perbedaan pola pada daerah sidik jari (fingerprint), kemungkinan sampelnya mengalami perubahan sehingga sampel 3 tidak sama lagi dengan dua sampel yg lain. Hasil analisis FTIR ketiga sampel memiliki gugus fungsi karboksilat COOH yang berintensitas kuat. Vibrasi COOH dalam gugus fungsi karboksilat dapat meningkatkan *wettability* pada permukaan karbon yang terdapat dalam komposit grafit, NAlg, dan PVA. Berdasarkan hasil pengukuran diameter, *wettability* semakin tinggi, ikatan semakin kuat dan ruang semakin tinggi, kapasitansi semakin tinggi. Dengan *wettability* ada partikel-partikel suatu fluida semakin ikatan adhesinya semakin kuat antara partikel dengan fluida, ruang untuk menyimpan muatan-muatan listrik semakin kecil dan muatan semakin kecil.

## KESIMPULAN

Berdasarkan data-data serangkaian penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yaitu jenis kapasitor tiga sampel

superkapasitor yang ada di pasaran dari pabrik yang sama berdasarkan karakterisasi SEM termasuk pseudokapasitor karena mempunyai partikel-partikel yang berwarna putih dan berbentuk kristal. Sampel 2 mempunyai partikel yang lebih padat dibanding sampel 1 dan 3. Sampel 3 bentuk kristalnya jauh lebih *uniform* dibanding sampel 1 dan 2. Penyebab keunggulan penyimpanan energi superkapasitor terletak pada dua lapisan yang dilapisi karbon aktif tanpa adanya reaksi kimia. Hal tersebutlah yang mengakibatkan superkapasitor mampu menyimpan energi yang lebih banyak.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Valdi Rizki Yandri, Muhammad Miftahul Munir, dan Khairurrijal, "*Pengujian Tegangan Superkapasitor Berbasis Sodium Alginat Sebagai Penyimpan Energi*", 2018.
- [2] Agus Riyanto, "*Superkapasitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan*", 2014.
- [3] Eko Nur Arif, Erman Taer, dan Rakhmawati Farma, "*Pembuatan Dan Karakterisasi Sel Superkapasitor Menggunakan Karbon Aktif Monolit Dari Kayu Karet Berdasarkan Variasi Konsentrasi  $HNO_3$* ", 2015.
- [4] Vinda Nur Fitriana, "*Sintesis Dan Karakterisasi Superkapasitor Berbasis Nanokomposit  $TiO_2/C$* ", 2014.
- [5] A. Subagio, Priyono, Pardoyo, dan R. Yudianti, "*Sintesis Dan Karakterisasi Material Nanokomposit CNT/ $MnO_2$  Untuk Aplikasi Material Superkapasitor*", 2014.
- [6] Teguh Ariyanto, Imam Prasetyo, dan Rochmadi, "*Pengaruh Struktur Pori Terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor Yang Dibuat Dari Karbon Nanopori*", 2012.
- [7] Septian Dwi Hananta, "*Pengujian Sifat Listrik Superkapasitor Dari Keratin PVA Dengan Penambahan Larutan Elektrolit*", 2015.
- [8] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, "*RUPTL PT PLN (PERSERO)*", Acara Diseminasi RUPTL 2018 – 2027, Jakarta, 22 Maret 2018.



- [9] Joseph Wang, “*Analytical Electrochemistry*”, (Third Edition).
- [10] Fitriani, N. A., “*Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Poli (Asam Glutamat) Bercetakan Molekul Kafein Untuk Penentuan Simultan Kafein Dan Parasetamol Secara Voltammetri*”, 2018.
- [11] Nugrohokartiko, “*Voltametri-Elektrokimia*”, 2015.
- [12] Susila Kristianingrum, “*Infrared Spectroscopy, IR*”,

